

УДК 622.276.53:621.671(047)

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДАВАЧІВ МОБІЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

¹Б.В.Копей, ²О.І.Стефанишин, ³В.В.Лопатін¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (03422) 42331
e-mail: koreyb@iifnq.edu.ua² ЦБВО ВАТ "Укрнафта", 79760, Львівської обл., м. Борислав, вул. Шевченка 77-а,
тел.(03248) 54085, e-mail: soi2005@ukr.net³ Інститут геотехнічної механіки НАНУ, м.Дніпропетровськ, вул.Сімферопольська, 2-а,
тел. (056) 3707782, e-mail: alex@mail.ru

За величинами першої амплітуди і її фази першої гармоніки, записаними залежно від місця розташування контрольованого вузла свердловинної штангової насосної установки (СШНУ) та їх змін під час експлуатації, судять про технічний стан вузла, величину зношування, якість кріплення тощо – виконується вібраційний контроль. Запропоновані місця встановлення давачів для вимірювання осьових, розтягуючих та скручуючих напружень у валах редукторів верстатів-гойдалок.

Ключові слова: вібрація, давач, прискорення, редуктор, свердловина, верстат-гойдалка.

По величинам первой амплитуды и ее фазы первой гармоники, записанными в зависимости от места расположения контролируемого узла скважинной штанговой насосной установки и их изменениям при эксплуатации, судят о техническом состоянии узла, величине износа, качестве крепления и т. п. – выполняется вибрационный контроль. Предложены места установки датчиков для измерения осевых, растягивающих и крутящих напряжений в валах редукторов станков-качалок.

Ключевые слова: вибрация, датчик, ускорение, редуктор, скважина, станок-качалка.

After the sizes of the first amplitude and its phase of the first harmonic, written in depending on the place of location of the controlled assembly of the pumping unit and to their changes during exploitation, judge about the technical state of the assembly, degree of wear, fastening quality, and others like that - vibration control is executed. The places of establishment of gages are offered for measuring of axial, stretchings and torque tensions in the shafts of reducing gears of pumping units

Keywords: vibration, transducer, acceleration, gear reducer, well, pumping unit

Актуальність проблеми

В Україні добре розвинуті нафтогазова та вуглевидобувна галузі, які значною мірою забезпечують державу енергоносіями. Для підймання продукції з пласта на поверхню використовують як штангові свердловинні насосні установки (ШСНУ), так і шахтні підймальні комплекси (ШПК). Кожна з цих типів установок оснащується як стаціонарними, так і мобільними системами контролю технічного стану, які дають змогу отримати інформацію про вібрації, спрацювання, руйнування, ослаблення кріплень тощо основних вузлів і деталей установок [1,2].

Виділення невирішених частин проблеми

Хоча існують різні схеми розміщення давачів мобільних вимірювальних систем (МВС), проте часто виникає необхідність в оптимізації їх розташування, особливо для умов вібраційного контролю як цілої ШСНУ, так і редуктора зокрема, а також системи «підймальна посудина ШПУ – жорстке армування шахти». Для цього, насамперед, слід розробити схеми кріплення давачів на валах і корпусних деталях.

Постановка задачі досліджень

Особливо важливим є визначення місця розташування давачів для контролю осьових, згинальних і скручуючих напружень на валах редукторів верстатів-гойдалок.

Також виникає необхідність у визначенні місця встановлення давачів для контролю стану підшипників та корпусів редукторів.

Крім того, передбачається вдосконалення способу контролю вібрацій з метою підвищення точності їх вимірювання.

Основний матеріал дослідження

Місця для встановлення давачів (акселерометрів) потрібно вибирати так, щоб останній знаходився якомога ближче до зони зубозачеплення. Для цього бажано знати внутрішню конструкцію редуктора. На шляху проходження вібросигналів від зони зубозачеплення до давача реєстрації сигналу повинно бути якомога менше меж розділу різних середовищ, а, особливо, зазорів [3, 4].

Давачі контактного типу рекомендується використовувати за умови, що швидкість обертання вала менша 3000 хв^{-1} , частота сигналу

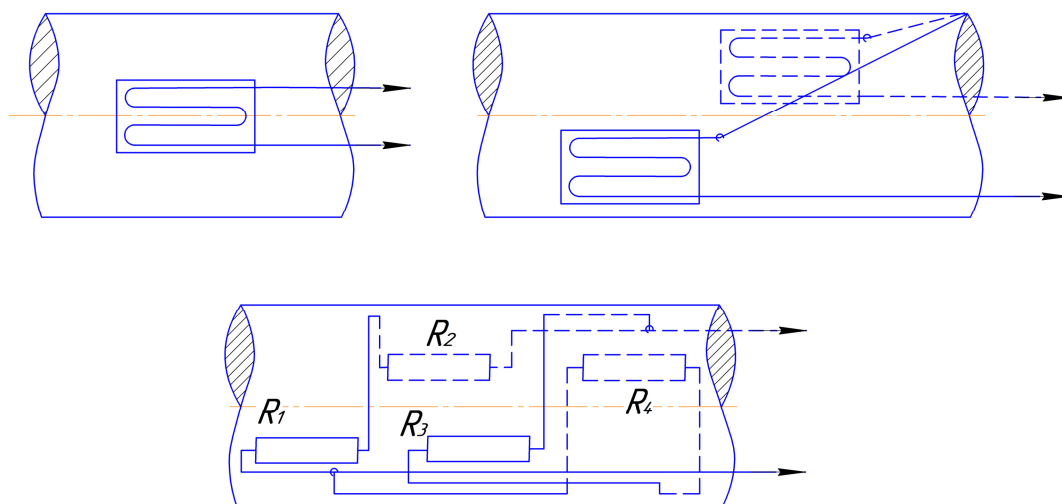


Рисунок 1 – Схеми встановлення датчиків для вимірювання деформації згину

менша 200Гц, швидкість руху поверхні вала на ділянках контакту з датчиком не менша 300м/с.

Для вимірювання вібрацій корпусу рекомендується використовувати датчик інерційного типу. Вимірювальна система повинна містити схему середньоквадратичного значення, що дає змогу отримати виміри середньоквадратичного значення віброшвидкості [5-7]. На частотну характеристику датчика може вплинути метод його кріплення, тому датчик потрібно встановлювати за допомогою болтового з'єднання, на клей та за допомогою постійних, сильних магнітів.

Для легких акселерометрів з робочим діапазоном частот до 3000 Гц допускається застосування кріплення на магніті за умови, що найбільша частота вібрації зубчастого зачеплення не перевищує 1000 Гц.

Для вимірювання вібропереміщень вала відносно корпусу використовують датчики безконтактного типу, які встановлюють якомога ближче до опорного підшипника на жорстко закріпленій ділянці корпусу. Вібрацію валу слід вимірювати в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, один з яких – паралельно до осі валу. Для вимірювання вібрації в осьовому напрямку достатньо одного датчика.

Механічні та електричні биття не повинні перевищувати 25% допустимого переміщення на частоті обертання валу (або 6 мкм). Для отримання дійсного рівня вібрації допускається обчислювати із виміряного значення вібрацій значення механічного та електричного биття за умови, що розрахунок проводиться з урахуванням фазових співвідношень між коливаннями та вимірними вібраціями валу. Допустима похибка обчисленого значення не повинна перевищувати 10% від виміряного значення на калібрувальній частоті за всіх значень робочої температури.

Вібрацію корпусу слід вимірювати на підшипнику або ділянці жорсткого кріплення на корпусі. Вимірювання необхідно здійснювати в трьох взаємноперпендикулярних напрямках, два з яких лежать в площині, перпендикулярній до осі обертання валу, особливо в горизонталь-

ному та вертикальних напрямках. Рекомендується проводити вимірювання на всіх підшипниках, де можливе встановлення датчиків, безпосередньо біля підшипника. Кількість та розміщення датчиків залежить від жорсткості корпусу та кількості валів.

Датчик необхідно встановлювати в напрямку лінії, яка з'єднує центри валів редуктора, або перпендикулярно до неї. Все залежить від конкретного типу редуктора, оскільки потрібно вибрати напрямок дії максимальних зусиль зубозачеплення.

Датчики на валах трансмісійних систем потрібно кріпити за схемами підключення одного, двох та чотирьох датчиків (рис. 1).

Датчики R1, R2, R3, та R4 (рис. 1), що входять до вимірювальної схеми, розташовані таким чином, що деформація вала вимірюється вздовж його осі. Датчики R2, та R4 розташовані з протилежного боку відносно датчиків R1, та R3. В момент згинання вала датчики R2, та R4 будуть реєструвати деформацію, протилежну до розміщення датчиків R1, та R3. Датчики R2, та R4 встановлюють на валі в тих самих поперечних площинах, що і датчики R1 та R3. Так забезпечується автоматична компенсація деформацій, що виникають під дією температури, скручування та осьових деформацій.

Кількість датчиків, одночасно встановлених на валу, вибирають залежно від необхідного ступеня чутливості вимірювальної системи, типу вимірювальної апаратури та температурного впливу на ділянку валу. Бажано встановлювати датчики якомога ближче до середнього перерізу вала, де відсутня концентрація напружень.

На рисунку 2 зображено схему встановлення датчиків, призначених для вимірювання осьової деформації. Датчики в даному випадку розташовані по обидва боки валу. Датчики R2, та R4 встановлені під прямим кутом до датчиків R1, та R3. Деформації згину впливають тільки на результат вимірювання датчиками R1 та R3, а осьові деформації – на датчик R2 та R4.

На рисунку 3, а зображено схему встановлення датчиків, призначених для вимірювання

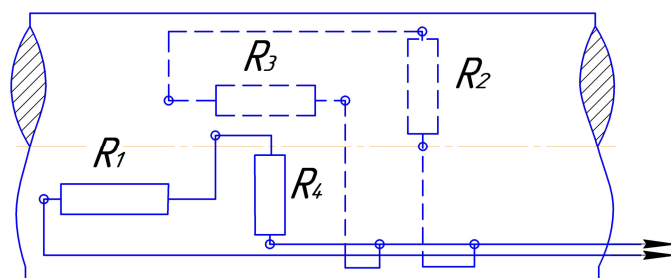


Рисунок 2 – Схеми встановлення датчиків для вимірювання осьових деформацій

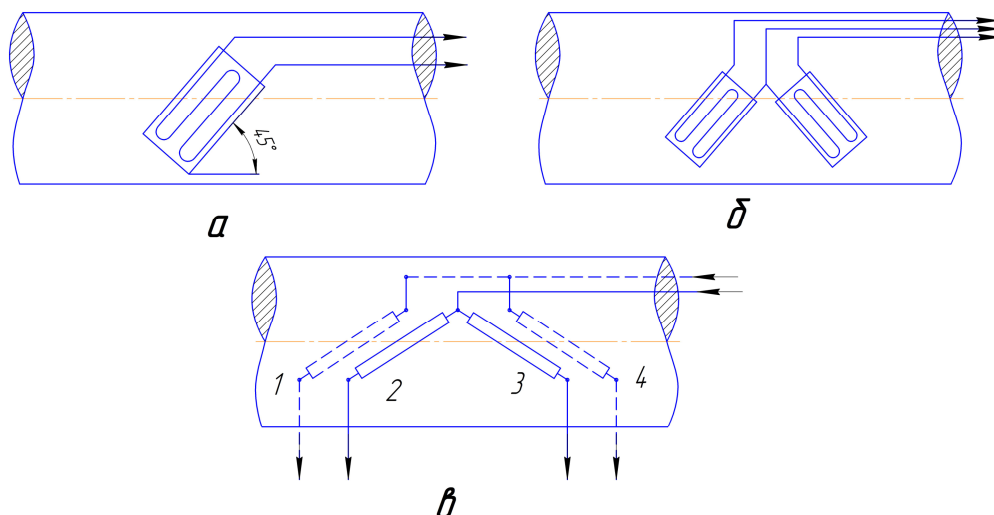


Рисунок 3 – Схеми встановлення датчиків для вимірювання деформації скручування

деформації скручування. Інтенсивність нормальних напружень розтягу і стискування в момент скручування вала при цьому рівна величині напружень зсуву на поверхні вала.

Якщо загальна точність вимірювання недостатня, встановлюють два, три або більше датчиків. У випадку встановлення двох датчиків (рис. 3, б) в момент скручування вала, обидва датчики реагують по-різному, що забезпечує подвійну загальну точність вимірювання порівняно з попередньою. Деформації згину в цьому випадку автоматично компенсуються, так як вимірювання опору, викликане деформацією згину в одному датчику, нейтралізується аналогічним вимірюванням в іншому. Дана схема забезпечує повну температуру компенсації за умови однакових характеристик двох датчиків. Це означає, що зміна опору одного датчика внаслідок впливу на нього температури нейтралізується аналогічною зміною опору другого. Схема, зображена на рисунку 3в, за однакових умов, забезпечує удвічі вищу точність вимірювання порівняно із схемою, зображеною на рисунку 3, б. При цьому забезпечується автоматична компенсація згину і температури.

Авторами пропонується вдосконалення способу вимірювання вібрацій, що діють на СШНУ, за допомогою використання пристрою, завдяки якому підвищується точність вимірювання. Точність вимірювання здебільшого визначається стабільністю роботи ланки зворотного зв'язку, вхідного і вихідного елементів схеми і з метою підвищення достовірності кон-

тролю вібрації сигнал, що надходить, порівнюють з компенсуючим сигналом, причому порівняння здійснюється методом врівноважуючого перетворення (компенсації) сигналу за допомогою зворотного зв'язку, в результаті чого відбувається компенсація похибок, а пристрій підвищує точність контролю завдяки підключенню акселерометрів до блоку реєстрації, виконаному за компенсаційною схемою із зворотним перетворювачем і перетворювачем нерівноваги.

Застосування способу уможливило більш точне вимірювання вібрацій. Саме датчик багато в чому зумовлює параметри вібраційного контролю, оскільки саме перший етап перетворення вібрації в електричний сигнал (параметр) в основному визначає такі характеристики пристрою контролю, як точність, швидкодію, надійність. Особливістю використання методу врівноважуючого вимірюваного перетворення (компенсації) є наявність зворотного перетворення вихідної величини у величину, однорідну з вхідною перетвореною величиною, і їх взаємне урівноваження з тією або іншою мірою точності. У компенсаційних акселерометрах відбувається компенсація мультиплікативних похибок, пов'язаних з нестабільністю характеристик ланок датчика, охоплених зворотним зв'язком. Інколи врівноважуюче перетворення застосовують лише в одному вузлі приладу, наприклад, у вимірювальному ланцюзі, шляхом використання компенсаційних або мостових рівноважних ланцюгів або в тракці посилення (підсилювачі з негативним зворотним зв'язком).

При цьому точність вимірювання здебільшого визначається стабільністю роботи ланки зворотного зв'язку, вхідного і вихідного елементів схеми. Завдяки цьому отримується найбільший ефект від використання врівноважуючого перетворення, коли воно охоплює весь пристрій контролю вібрації, включаючи давач (акселерометр). Характерною для цього випадку є особлива структура пристрою контролю вібрації: у ній обов'язково повинен міститися зворотний перетворювач, вихідна величина якого врівноважує вимірювану величину і перетворювач нерівноваги (нуль-орган або орган порівняння), для виявлення величини і знаку відхилення від рівноваги.

Давачі кріплять на вузлі контрольованої свердловинної насосної установки так, щоб вони могли сприймати вібрацію (удари), наприклад, в двох взаємно перпендикулярних горизонтальних напрямках. Таке закріплення давачів необхідне для можливості визначення напрямку ударів (це завдання може виконати двокоординатний акселерометр). Можлива установка і трьох акселерометрів, зорієнтованих в тривимірному просторі або трикоординатного акселерометра. У цьому варіанті можливе визначення напрямів ударів в тривимірному просторі - в двох горизонтальних напрямках і додатково - у вертикальному.

Коливання кожного давача перетворюють в індивідуальному зворотному перетворювачі, і порівнюють в перетворювачі нерівноваги, який вимірює величину і знак відхилення від рівноваги і корегує (змінює) сигнал до здобуття відповідності вихідною і вхідною контрольованими величинами. Цей принцип застосовний для усунення як аддитивних, так і мультиплікативних перешкод. Його перевагою є використання у випадку, коли перешкоди не можуть бути визначені.

Після установлення апаратури контролю на вузлі контрольованої свердловинної насосної установки проводять її тарування. Для цього в місцях кріплення давачів завдають ударів відомої величини у напрямках дії давачів та фіксують величини на реєструючому пристрої. За величиною сили удару і величиною амплітуди першої гармоніки коливань давачів, записаною на реєструючому пристрої, визначають ціну поділки шкали реєструючого пристрою. Для кожного давача визначають фазування, тобто відповідність напрямку удару фазі записаної амплітуди першої гармоніки на реєструючому пристрої.

У ході вібраційного контролю якісної свердловинної насосної установки ударні навантаження відсутні, і вібрація має плавний характер. У міру зношування устаткування свердловинної штангової насосної установки (СШНУ) під час руху механізмів з'являються ударні навантаження. Чим більшим є ступінь спрацювання механізмів, тим більш інтенсивні удари вони сприймають і тим сильніше вони збуджують в механізмі вібрації. Ці вібрації сприймаються давачами (акселерометрами) і перетворюються в затухаючі коливання, частота кож-

ного з яких визначається власною частотою механічних коливань.

Вироблені акселерометрами коливання подають в блок реєстрації, де коливання кожного акселерометра перетворюють в діаграму. За записаними діаграмами за величиною амплітуди першої гармоніки електричних коливань акселерометра і ціною поділки шкали реєстратора визначають силу удару. Зіставляючи значення, отримані з діаграми, та результати тарування, визначають напрям удару в контрольованому механізмі СШНУ. Наприклад, за фази першої амплітуди першої гармоніки, рівної 180° удар відбувається зліва, при 0° — справа. За відсутності сигналу від другого акселерометра, напрям удару збігається з віссю першого акселерометра, і навпаки, коли відсутній сигнал першого акселерометра, напрям удару збігається з віссю другого акселерометра. У випадку значного неспівпадіння напрямку удару з напрямками осей акселерометров контроль проводять за показами двох акселерометрів із співвідношень:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2};$$

$$A_2/A_1 = \sin\varphi_1 / \sin\varphi_2;$$

$$\varphi = \arctg A_2/A_1;$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 90^\circ,$$

де: A_1 — перша амплітуда першої гармоніки коливань першого акселерометра;

A_2 — перша амплітуда першої гармоніки коливань другого акселерометра;

φ_1 — кут між віссю напрямку удару і віссю напрямку першого акселерометра;

φ_2 — кут між віссю напрямку удару і віссю напрямку другого акселерометра.

Простота співвідношень дає змогу повністю автоматизувати процес оброблення сигналу.

Функціонально зворотний перетворювач, перетворювач нерівноваги і блок реєстрації можуть бути виконані на базі комп'ютера з відповідним інтерфейсом і програмним забезпеченням. За незначного порогу чутливості перетворювача нерівноваги досягається майже повна рівновага, і похибка пристрою контролю вібрації визначається майже виключно похибкою перетворювачів, тобто комп'ютера пристрою контролю вібрації.

Наприклад, нехай ударні вібрації виникають в контрольованому вузлі з боку, протилежного місцю кріплення акселерометрів (уздовж осі другого акселерометра).

Перший акселерометр не вироблятиме сигнал, а працюватиме лише другий акселерометр. Наявність сигналу другого акселерометра свідчать про те, що удари відбуваються в поперечному напрямі контрольованого вузла. Далі отримані дані передають ремонтній бригаді, де вказують силу і частоту ударів, його напрям і місце виникнення (визначають за давачем положення), а також те, що удар прогресує і є небезпечним для цілісності деталей. Якщо удар не прогресує і незначний за величиною, оператор-контролер (комп'ютер) може прийняти рішення про продовження роботи.

Висновки

Таким чином, за величинами першої амплітуди і фази її першої гармоніки, записаними залежно від місця розташування контрольованого вузла свердловинної штангової насосної установки (СШНУ) та їх змінам під час експлуатації, судять про технічний стан вузла, величину зношування, якість кріплення тощо, тобто здійснюється вібраційний контроль.

Запропоновано місця встановлення давачів для вимірювання осьових, розтягуючих та скручуючих напружень на валах редукторів верстатів-гойдалок.

Література

1 Заміховський Л.М. Діагностика технічного стану штангових глибинно-насосних установок. // Л.М.Заміховський, В.А.Ровінський, О.В.Євчук. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2006. — 307 с.

2 Копей Б.В. Вимірювання швидкості мобільними інформаційно-вимірювальними системними комплексами / Б.В.Копей, В.В.Лопатін, О.І.Стефанишин // Методи і прилади контролю якості. — 2009. — №22. — С.81-85.

3 Колебания машин, конструкций и их элементов; под ред. Диментберга Ф.М. и Колесникова К.С. — М.: Машиностроение, 1980. — 544 с.

4 Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов: справочное пособие / Г.С.Маслов. — М.: Машиностроение, 1968. — 270 с.

5 ГОСТ ИСО 10816. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Чинний від 1.01.2006. — К.: Держстандарт, 2005 — 12 с.

6 ГОСТ ИСО 7919/3-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Промышленные машины и комплексы. Чинний від 1.01.2002. — К.: Держстандарт, 2001 — 18 с.

7 Вибрации в технике: справочник в 6-ти томах; под. ред. В.Н.Челомей (пред). — М.: Машиностроение, 1981. — Т. 5 Измерения и испытания; под ред.М.Д.Генкина. — 496 с., ил.

Стаття надійшла до редакційної колегії

18.02.10

*Рекомендована до друку професором
Горбійчуком М.І.*